

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ УРАНА (VI) ИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ  
НАНОПОРИСТЫМИ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ  
МОДИФИЦИРОВАННОГО TiO<sub>2</sub>**

**О.В. Перлова<sup>1</sup>, Ю.С. Дзязько<sup>2</sup>, Н.А. Перлова<sup>1</sup>, А.А. Малиновская<sup>1</sup>,  
А.В. Пальчик<sup>2</sup>, Е.А. Хромьшева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова,*

*Украина, 65082, г. Одесса, ул. Десятая, 2, e-mail: olga\_perlova@onu.edu.ua*

<sup>2</sup> *Институт общей и неорганической химии им. В.И.Вернадского НАН Украины,*  
*Украина, 03680, Киев-142, пр. акад. Палладина, 32/34, e-mail: d.vazko@gmail.com*

<sup>3</sup> *Мелитопольский государственный педагогический университет им. Б.*  
*Хмельницкого, Украина, 72312, Запорожская обл., г. Мелитополь, ул. Ленина, 20*

Соединения урана (VI) являются, с одной стороны, ценными, а с другой стороны – высокотоксичными компонентами растворов. Поэтому актуальной как с экономической, так и с экологической точек зрения является задача извлечения соединений урана (VI) из технологических растворов и сточных вод уранодобывающей и ураноперерабатывающей промышленности. Сорбционный метод является одним из наиболее простых и эффективных методов извлечения ценных и токсичных компонентов растворов при условии использования доступных сорбционных материалов многократного использования, обладающих высокой сорбционной способностью по отношению, в частности, к соединениям урана (VI). Перспективными в этом отношении представляются композиционные сорбенты на основе гидратированных диоксидов металлов IV группы. Такие сорбенты хорошо зарекомендовали себя при извлечении анионов, содержащих тяжелые металлы. Для придания материалам селективности, их дополнительно модифицируют как органическими, так и неорганическими соединениями.

В работе использовали неорганические сорбенты на основе гидратированного диоксида титана. Образец 0 получали золь-гель методом, исходным реагентом являлся TiCl<sub>4</sub>. Крупные гранулы образовывались из геля при зееотропной сушке (80°С). Образец 1 получали соосаждением TiO<sub>2</sub> и гексапаноферрата кобальта из водной среды раствором NH<sub>4</sub>OH. Совместное осаждение TiO<sub>2</sub> и гексапаноферрата кобальта в виде геля позволило получить образец 3.

Как было установлено методом тепловой десорбции азота, для образцов 0 и 3 характерна нанопористая структура. В интервале от  $<1$  нм до 100 нм доминируют поры диаметром 3 нм: интегральные порограммы в этой области демонстрируют крутой подъем, а дифференциальные – узкий пик. Это указывает на правильность форм пор, а также на отсутствие извилистости. Для образца 1 заметный вклад в общую пористость вносят микропоры. Дифференциальная порограмма характеризуется наличием размытого пика, центр которого соответствует 3 нм. Пористая структура включает поры размером до 100 нм.

Изучена сорбционная способность полученных материалов по отношению к соединениям урана (VI), присутствующим в модельных растворах. Сорбатами служили соединения урана (VI), находящиеся в  $5 \cdot 10^{-4}$  М растворах ацетата уранила в присутствии  $0,02$  моль/дм<sup>3</sup> одного из реагентов -  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$  или  $NaHCO_3$ . Исходные значения pH этих растворов равнялись, соответственно, 1,8; 2,5 и 8,2. Сорбцию соединений урана (VI) проводили в статическом режиме при температурах  $18 \pm 2^\circ C$  и расходе сорбентов  $0,5-4$  г/дм<sup>3</sup> в течение от 15 мин до 5 ч.

Проведенные исследования показали, что соединения урана могут быть выделены из модельных растворов изученными сорбентами при оптимальных условиях сорбции, установленных нами экспериментально, на 55-99,5% в зависимости, с одной стороны, от условий синтеза и свойств сорбентов (удельная поверхность, размер частиц, диаметр пор и пр.), а с другой стороны – от форм нахождения урана (VI) в том или ином модельном растворе. Установлено, наиболее эффективно (на 85-99,5%) и быстро (за 2 часа) уран (VI) сорбируется в виде катионов уранила  $UO_2^{2+}$  и гидроксокомплексов уранила состава  $[UO_2(OH)]^+$ ,  $[UO_2(OH)_2]$ ,  $[UO_2(OH)_3]^+$  из нитратных растворов (pH 5-7 (образцы 1 и 2), pH 6-7 (образец 0)), причем при расходе сорбентов  $0,5$  г/дм<sup>3</sup> их сорбционная емкость по урану достигает значений 200-230 мг/г. Степень сорбции урана из карбонатных растворов (pH 6-8) при расходе сорбентов  $4$  г/дм<sup>3</sup> и времени сорбции 2 ч не превышает 55% (образцы 1, 2) и 22% (образец 0), что связано, по-видимому, со стерическими затруднениями, сопровождающими сорбцию анионных комплексов уранила состава  $[UO_2(CO_3)_2]^{2-}$ ,  $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$ . Однако увеличение времени сорбции до 2-3 суток позволяет достичь

практического полного извлечения соединений урана (VI) как из карбонатных, так и из сульфатных растворов с исходными значениями pH.

Необходимо отметить, что образец 1 лучше сорбирует соединения урана (VI) из модельных растворов, чем образец 2. Это может быть связано как с большим содержанием гексацианоферрата кобальта, так и с наличием микропор (центров избирательной сорбции). В отличие от ионообменных смол, для всех образцов характерна низкая скорость сорбции (при исходных значениях pH растворов сорбатов равновесие достигается в течение нескольких суток). Данный факт обусловлен специфичным взаимодействием урана (VI) с сорбентом, а также нанопористостью исследуемых образцов (в доминирующих порах отсутствует свободная вода, в которой подвижность ионов сорбата достигает таких же значений, как и в растворе).

В качестве регенерирующих агентов были апробированы деионизированная вода, 1 М растворы  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ . Установлено, что исследуемые сорбенты практически не регенерируются деионизированной водой (степень десорбции урана не превышает 10%), лучше – растворами  $\text{NaOH}$  (на 20-35%) и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (на 45-50%), а наиболее полно – раствором  $\text{NaHCO}_3$  (на 77-100%). Однако при регенерации карбонатными растворами сорбенты переходят в соответствующую форму, которая характеризуется более низкой емкостью по отношению к соединениям урана. Поэтому для воспроизводства сорбционных свойств необходима последующая обработка сорбентов раствором щелочи.

В заключение отметим, что модифицированные сорбенты более целесообразно использовать для извлечения соединений урана (VI) из модельных растворов, поскольку, по сравнению с немодифицированным  $\text{TiO}_2$  достигается более высокая степень сорбции, уменьшается время достижения сорбционного равновесия, расширяется область оптимальных pH, уменьшается расход сорбентов, более полно осуществляется и облегчается их регенерация.